

В.Д. КОСЕНКОВ

Хмельницький національний університет

Д.А. ІВЛЄВ

Одеський національний політехнічний університет

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПОСЛАБЛЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОПЕРЕЧНОЇ РЕАКЦІЇ ЯКОРЯ В МАШИНАХ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В статті зібрані та проаналізовані засоби боротьби з поперечною реакцією якоря в машинах постійного струму лінійного та обертового типів, які не розглядаються в класичній теорії електричних машин. З класичної теорії електричних машин постійного струму відомо, що основними конструктивними засобами зменшення впливу поперечної реакції якоря на основне магнітне поле є збільшення повітряного проміжку під краями полюсних наконечників та розміщення в пазах полюсів компенсаційної обмотки. В даній роботі проаналізовані методи, які дозволяють послабити поперечну реакцію якоря без недоліків, що обговорені вище, та які з'явилися останнім часом при розробці конструкцій електричних машин лінійного та обертового типів. Сутність цих методів полягає у виконанні, в межах кожного полюсного ділення, магнітопроводу з окремих частин, розділених немагнітним зазором, що збільшує опір магнітному потоку поперечної реакції якоря. Більший ефект для магнітних та обертових машин дає виконання магнітопроводу індуктора з окремих П-подібних частин, де у зв'язку з суттєвим послабленням поперечної реакції якоря робочий повітряний проміжок можна звести до технологічного.

Ключові слова: магнітне поле, поперечна реакція, якор, електричні машини, постійний струм, магнітний потік, електричний двигун.

V.D. KOSENKOV

Khmelnitskyi National University

D.A. IVLIEV

Odessa National Polytechnic University

ANALYSIS OF WAYS OF DIMINISHING OF THE MAGNETIC FIELD OF TRANSVERSAL REACTION OF ANCHOR IN MACHINES OF DIRECT CURRENT

The article gives an overview and analysis of the latest developments devoted to ways of weakening the magnetic fluxes of the transverse anchor reaction in electric direct current machines, both linear and rotary types. Designs use constructive tools that are not considered in the classical theory of electric machines. The essence of the means is reduced to the implementation of the pole system from individual parts, which are separated by non-magnetic gaps in the flow of transverse anchor reaction. Methods which allow to weaken the transverse anchor reaction without the disadvantages and which appeared recently after the design of electric and linear machines and rotary type machines have been analysed in this paper. The essence of these methods is the execution, within each pole division, of a magnetic core of separate parts separated by a non-magnetic gap, which increases the resistance to the magnetic flux of the transverse anchor reaction. The greater effect for magnetic and rotary machines gives the magnetic rod of the inductor on individual P-shaped parts, where, in connection with the substantial weakening of the transverse anchor reaction, the working air gap can be reduced to a technological one. For a rotating electric motor of direct current there is effective construction, where a winding is placed in the stator slots, which serves as an anchor winding and excitation winding, and rotor without a winding is executed in an axial direction from separate ferromagnetic parts.

Keywords: magnetic field, transverse reaction, anchor, electric machines, direct current, magnetic flux, electric motor.

Постановка задачі. З класичної теорії електричних машин постійного струму [1, 2] відомо, що основними конструктивними засобами зменшення впливу поперечної реакції якоря на основне магнітне поле є збільшення повітряного проміжку під краями полюсних наконечників та розміщення в пазах полюсів компенсаційної обмотки. Між тим, перший спосіб зменшує і основний магнітний потік полюса, а другий спосіб ускладнює конструкцію електричної машини, збільшує витрати міді і застосовується в машинах великої потужності (>80...100 кВт на полюс [1]).

Тому є доцільним розглянути і проаналізувати методи, які дозволяють послабити поперечну реакцію якоря без недоліків, що обговорені вище, та з'явилися останнім часом при розробці конструкцій електричних машин лінійного та обертового типів.

Огляд і аналіз новітніх розробок. Слід відмітити, що спочатку конструктивні засоби боротьби з поперечною реакцією якоря з'явилися для лінійних машин постійного струму. На рис. 1 наведено конструкцію лінійного двигуна постійного струму, у якого на рухомому елементі 1 розміщені обмотка збудження 2 та обмотка якоря 3, а нерухомий елемент виконаний з окремих феромагнітних брусків 4, встановлених на міжполюсній відстані один від одного.

В роботі [3] запропоновано розділяти феромагнітні бруски (полюси) 4 в напрямку, поперечному руху, немагнітним зазором по осі симетрії (немагнітною вставкою) 5. Доведено, що при 2–4-кратному немагнітному зазорі в брусках порівняно з робочим зазором максимальне значення індукції поля поперечної реакції якоря зменшується на 20–25%. Подальше збільшення зазору між половинками бруска неефективно, тому що при припущенні, що магнітна провідність між половинками бруска дорівнює нулю, поле реакції якоря буде послаблено тільки вдвічі. Але це потребує великої величини зазору, а, значить, і обумовить зменшення основного магнітного потоку.

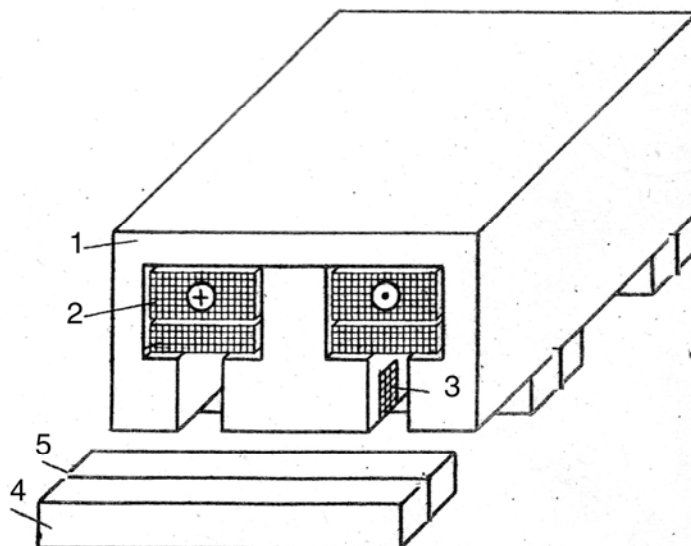


Рис. 1. Лінійний електричний двигун постійного струму з розміщенням обмотки якоря та обмотки збудження на рухомому елементі

Ефект послаблення поля передньої реакції якоря може бути досягнутий також шихтовкою брусків, але технологія їх кріплення погіршується.

Відмітимо, що у класичних машин постійного струму обертового типу розділення полюсів навпіл по осі машини практично не зменшить поле поперечної реакції якоря, тому що ярмо індуктора шунтує немагнітний зазор.

Також для лінійної машини постійного струму розроблений магнітопровід індуктора [4], який дозволяє звести робочий зазор машини майже до технологічного (рис. 2)

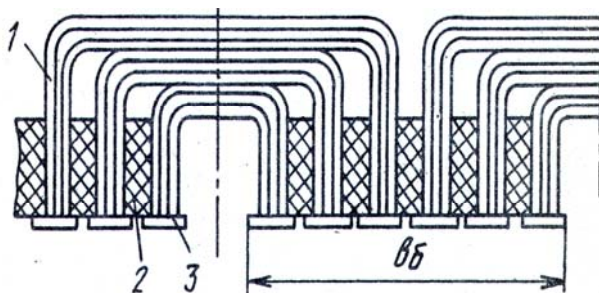


Рис. 2. Конструкція магнітопроводу індуктора лінійної машини

Бачимо, що тут на шляху замикання поля поперечної реакції якоря велика кількість немагнітних зазорів.

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Рис. 3. Конструкція феромагнітної пластини для збільшення магнітної провідності основного потоку

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Рис. 4. Конструктивна схема індуктора циліндричного лінійного двигуна

На рис. 2 показано: 1 – шихтуючі пластини індуктора; 2 – немагнітні прокладки; 3 – суцільна феромагнітна накладка полюса (рис. 3).

Магнітопровід виготовлюється за технологією виготовлення витих магнітопроводів з тією різницею, що через деяку кількість витків сталі встановлюється немагнітні вставки 2. Потім магнітопровід розрізається на дві частини.

Ідея конструкції магнітопроводу роботи [4] реалізована в індукторі циліндричного лінійного двигуна постійного струму [5], конструктивна схема якого показана на рис. 4.

Тут індуктор виконується у вигляді ряду феромагнітних циліндрів різного діаметру 1, коаксіально розташованих один в одному, причому довжина циліндра зростає зі зростанням його діаметру. В кожен циліндр з обох сторін вставлені феромагнітні кільця 2, а кільцева обмотка збудження 3 розміщена всередині найменшого циліндру. Центрування циліндрів 1 та проміжок між феромагнітними кільцями 2 забезпечується неферомагнітними вставками 4 та 5 відповідно. Товщину пластини 5 слід обирати не більше ширини відкритих пазів якоря. З рис. 4 бачимо, що на шляху потоку поперечної реакції якоря $\Phi_{ад}$ є великі немагнітні зазори, що дозволяє звести робочий зазор машини до технологічного і зменшити магніторушійну силу (МРС) обмотки збудження.

Відома також конструкція лінійного електричного двигуна постійного струму [6], у якого нерухома частина містить три якоря зі спільною обмоткою та дві обмотки збудження, а нерухомі бруски виконані зі зміщенням на полюсну поділку під крайніми якорями та розділені навпіл у напрямку, перпендикулярному руху.

В Одеському національному політехнічному університеті розроблений ряд конструкцій обертових електричних машин бііндукторного типу, у яких нерухомий магнітопровід з обмотками якоря та збудження виконаний у вигляді П-подібних частин [7] або Ш-подібних частин [8], не пов'язаних одна з одною феромагнітними елементами. Мета тут єдина – ослаблення поля поперечної реакції якоря. На рис. 5 наведено конструктивну схему торцевої машини бііндукторного типу П-подібними магнітопроводами індуктора.

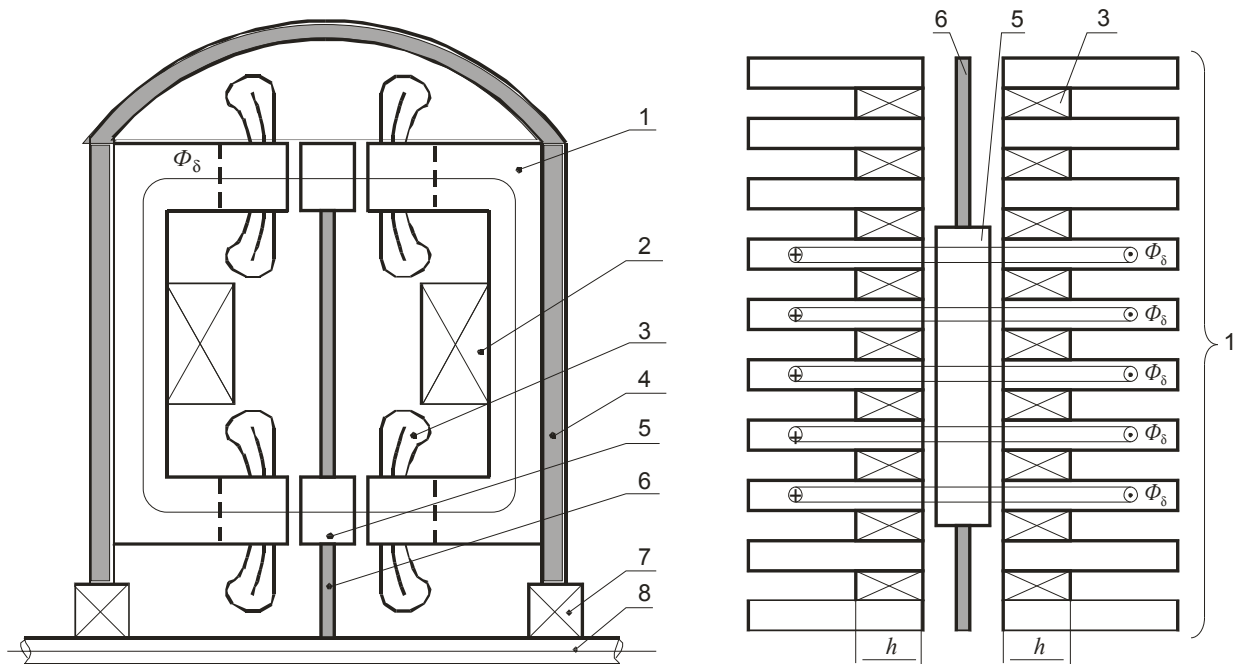


Рис. 5. Конструктивна схема бііндукторного двигуна (рис. 5а) та розгортка двигуна (рис. 5б)

Конструкція включає П-подібні магнітопроводи 1, що кріпляться до неферомагнітного корпусу 4, кільцеву обмотку 2 та обмотку якоря 3. Рухома частина представляє феромагнітні полюси 5, що закріплені на неферомагнітному диску 6, який закріплений на валу 8. Вал обертається в підшипниках 7 (рис. 5,а).

На рис. 5,б показано шляхи замикання магнітного потоку збудження $\Phi_{\text{зб}}$, якщо дивитись на розгортку активної зони машини в межах двополюсних ділень.

В дослідженні [9] наведені особливості визначення реактивної ЕРС такої машини і отримано вираз для повної питомої пазової провідності $\lambda_{\text{п}}$.

У винаході [10] також реалізується ідея виготовлення магнітопровода індуктора з непов'язаних одна з одною окремих феромагнітних пластин (зубців), а на роторі використовуються Г-подібні зубці.

Поперечна реакція якоря в таких конструкціях послаблюється, але технологія виготовлення значно ускладнюється.

Під час аналізу поля реакції якоря в машинах, де лобові частини якорної обмотки охоплені магнітопроводом для замикання основного магнітного потоку, слід враховувати схему укладки якорної обмотки. Тут доцільно надавати перевагу звичайній двослойній обмотці машини постійного струму [1, 2], а обмотки [11, 12], де секції укладаються групами не рекомендуються для використання у зв'язку з наявністю пульсацій поздовжнього магнітного поля лобових частин обмотки якоря [9]. Ці обмотки були розроблені для лінійних машин постійного струму, у яких лобові частини обмотки не охоплені магнітопроводом. На рис. 6 показаний фрагмент одношарової обмотки для одного положення полюса (рис. 6 а), а на рис. 6 б – розподіл МРС її лобових частин.

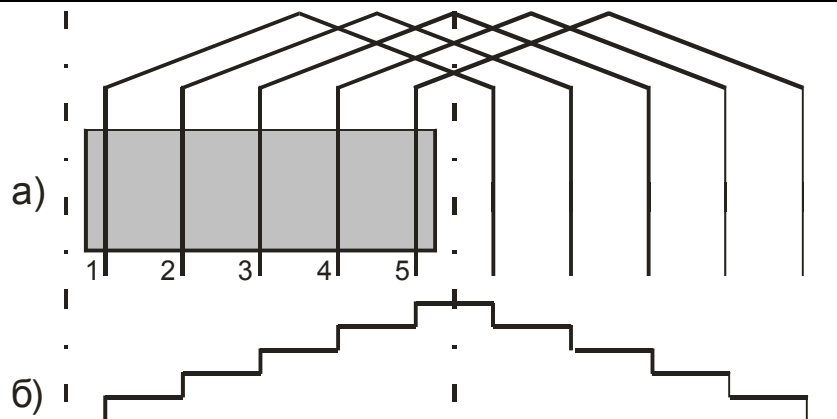


Рис. 6. Групова укладка одношарової обмотки якоря лінійного двигуна

Для лінійного двигуна такі обмотки забезпечують повне заповнення пазів якоря. Рекомендації для обертових машин постійного струму. У зв'язку з тим, що ідея розділення полюса на частини, в напрямку, перпендикулярному руху, для класичної машини не призводить до послаблення поля поперечної реакції якоря з-за суцільного ярма індуктора, можна запропонувати конструкцію виготовлення обертової частини в машині оберненого типу (рис. 7).

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Рис. 7. Конструкція ротора машини оберненого типу

Тут ротор виконаний з трьох феромагнітних частин, середня частина якого насаджена на вал, а крайні – прикріплені до середньої через немагнітні прокладки.

Якірна обмотка розміщена на статорі і може одночасно виконувати і функцію обмотки збудження тією її частиною, що розміщена в будь-якій момент часу навпроти між полюсного проміжку, або на роторі може бути власна обмотка збудження.

Така конструкція також суттєво послаблює поле поперечної реакції якоря і рекомендується для двополусної машини. Наведена конструкція машини значно технологічніше ніж конструкції [7, 8, 10]. Принципово можна виконати ротор з окремих частин на кожному полюсі і для більшої кількості полюсів, але технологія виготовлення ротора ускладнюється.

Висновки. У роботі наведені конструктивні засоби боротьби з поперечною реакцією якоря, які практично не збільшують магнітний опір на шляху основного магнітного потоку. Сутність цих засобів полягає у виконанні, в межах кожного полюсного ділення, магнітопроводу з окремих частин, розділених немагнітним зазором, що збільшує опір магнітному потоку реакції якоря.

Література

1. Вольдек А.И. Электрические машины : учебник для студ. высш. техн. учебн. заведений / Вольдек А.И. – Изд. 2-е, пераб. и доп. – Л. : Энергия, 1974. – 840 с., ил.
2. Костенко М.П. Электрические машины : в 2-х ч. Ч. 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы : Учебник для студ. высш. техн. учебн. заведений / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – [3-е изд. переаб.]. – Л. : Энергия, 1972. – 344 с., ил.
3. Косенков В.Д. Особенности вторичного элемента линейной машины с поперечным потоком в ярме индуктора / Косенков В.Д., Скубий Л.В., Беликов В.Т. – Одесса, 1979. – 11 с. – (Рук. представлена Одесским политехническим институтом. Деп. в УкрНИИТИ 26.11.1979, № 1799).
4. А.с. 1578791 СССР, МКИ H02K 1/14. Магнітопровод індуктора машини постійного струму / В.Д. Косенков, Л.В. Скубий. – Опубл. 15.07.1990, Бюл. № 26.
5. Патент UA 35916 МПК H02K 41/02. Індуктор лінійного двигуна постійного струму / В.Д. Косенков, Л.В. Скубий. – Опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19.
6. Патент UA 126555 МПК H02K 41/02. Лінійний електричний двигун постійного струму / В.Д. Косенков. – Опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12.
7. Булгар В.В. Применение двигателей постоянного тока в низкоскоростных безредукторных электроприводах / В.В. Булгар, Д.А. Ивлев / Труды ОНПУ : научный и производственно-практический сборник. – Одесса, 2010. – Вып. 1 (33) – 2 (34). – С. 99–104.
8. Патент UA 95429 МПК H02K 19/06. Торцева електрична машина бііндукторного типу / В.В. Булгар, А.Д. Івлев, Д.А. Івлев, О.В. Яковлев, В.Д. Косенков. – Опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.
9. Косенков В.Д. Особливості визначення реактивної ЕРС машин постійного струму з розділними П-подібними магнітопроводами індуктора / В.Д. Косенков, Л.В. Скубий // Вимірювальна та обчислювальна техніка технологічних процесів. – 2013. – № 1. – С. 114–117.
10. Патент UA 116924 МПК H02K 29/00. Електрична машина бііндукторного типу / В.В. Булгар,

А.Д. Івлев, Д.А. Івлев, О.В. Яковлев, В.Д. Косенков. – Оpubл. 25.05.2018, Бюл. № 10.

11. А.с. 448541 СССР, МКИ Н 02 К 3/18. Однослойная петлевая обмотка якоря линейного электродвигателя постоянного тока / В.И. Артеменко, В.Т. Беликов, В.Д. Косенков. – Оpubл. 30.10.1974, Бюл. № 40.

12. А.с. 480155 СССР, МКИ Н02К 23/30. Двухослойная петлевая обмотка / В.И. Артеменко, В.Т. Беликов, В.Д. Косенков. – Оpubл. 05.08.75, Бюл. № 29.

References

1. Voldek A.I. Elektricheskie mashiny : uchebnik dlya stud. vyssh. tehn. uchebn. zavedenij / Voldek A.I. – Izd. 2-e, perab. i dop. – L. : Energiya, 1974. – 840 s., il.
2. Kostenko M.P. Elektricheskie mashiny : v 2-h ch. Ch. 1. Mashiny postoyannogo toka. Transformatory : Uchebnik dlya stud. vyssh. tehn. uchebn. zavedenij / M.P. Kostenko, L.M. Piotrovskij. – [3-e izd. pereab.]. – L. : Energiya, 1972. – 344 s., il.
3. Kosenkov V.D. Osobennosti vtorichnogo elementa linejnoy mashiny s poperechnym potokom v yarme induktora / Kosenkov V.D., Skubij L.V., Belikov V.T. – Odessa, 1979. – 11 s. – (Ruk. predstavlena Odesskim politehnicheskim institutom. Dep. v UkrNIINTI 26.11.1979, № 1799).
4. А.с. 1578791 SSSR, МКИ N02K 1/14. Magnitoprovod induktora mashiny postoyannogo toka / V.D. Kosenkov, L.V. Skubij. – Opubl. 15.07.1990, Byul. № 26.
5. Patent UA 35916 MPK N02K 41/02. Induktor liniinogo dvyhuna postiinogo strumu / V.D. Kosenkov, L.V. Skubii. – Opubl. 10.10.2008, Biul. № 19.
6. Patent UA 126555 MPK N02K 41/02. Liniinyi elektrychnyi dvyhun postiinogo strumu / V.D. Kosenkov. – Opubl. 25.06.2018, Biul. № 12.
7. Bulgar V.V. Primenenie dvigatelej postoyannogo toka v nizkoskorostnyh bezreduktornyh elektroprivodah / V.V. Bulgar, D.A. Ivlev / Trudy ONPU : nauchnyj i proizvodstvenno-prakticheskij sbornik. – Odessa, 2010. – Vyp. 1 (33) – 2 (34). – S. 99–104.
8. Patent UA 95429 MPK N02K 19/06. Tortseva elektrychna mashyna biinduktornogo typu / V.V. Bulhar, A.D. Ivlev, D.A. Ivlev, O.V. Yakovlev, V.D. Kosenkov. – Opubl. 25.07.2011, Biul. № 14.
9. Kosenkov V.D. Osoblyvosti vyznachennia reaktivnoi ERS mashyn postiinogo strumu z rozdilnymi P-podibnymi mahnitoprovodamy induktora / V.D. Kosenkov, L.V. Skubii // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika tekhnolohichnykh protsesiv. – 2013. – № 1. – S. 114–117.
10. Patent UA 116924 MPK N02K 29/00. Elektrichna mashina biinduktornogo tipu / V.V. Bulgar, A.D. Ivlev, D.A. Ivlev, O.V. Yakovlev, V.D. Kosenkov. – Opubl. 25.05.2018, Byul. № 10.
11. А.с. 448541 СССР, МКИ Н 02 К 3/18. Однослойная петлевая обмотка якоря линейного электродвигателя постоянного тока / В.И. Артеменко, В.Т. Беликов, В.Д. Косенков. – Оpubл. 30.10.1974, Бюл. № 40.
12. А.с. 480155 СССР, МКИ N02K 23/30. Dvuhoslojnaya petlevaya obmotka / V.I. Artemenko, V.T. Belikov, V.D. Kosenkov. – Opubl. 05.08.75, Byul. № 29.

Рецензія/Peer review : 23.5.2019 р.

Надрукована/Printed : 2.6.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Горошко А.В.